



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2447>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de Investigación

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas

Study of wireless communication technology in the IEEE 802.11ax standard aimed at deployment in Ecuador for the development of the Internet of Things

Estudo da tecnologia de comunicação sem fio no padrão IEEE 802.11ax para implantação no Equador para o desenvolvimento da Internet das Coisas

Aldo Patricio Mora-Olivero ^I
aldo.mora.olivero@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4337-7452>

Richard Alejandro Macías-Lara ^{II}
alejandro.macias@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2164-3171>

Jaime Darío Rodríguez-Vizueté ^{III}
jaime.rodriguez.vizueté@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1397-718X>

Héctor Andrés Sacón-Klinger ^{IV}
hector.sacon@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6585-4793>

Correspondencia: aldo.mora.olivero@utelvt.edu.ec

***Recibido:** 20 de noviembre de 2021 ***Aceptado:** 30 de noviembre de 2021 * **Publicado:** 20 de diciembre de 2021

- I. Magister en Tecnologías de la Información, Ingeniero de Sistemas y Computación, Docente de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres, Ecuador.
- II. Magister en Tecnologías de la Información, Ingeniero de Sistemas y Computación, Docente Investigador de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Magister en Innovación en Educación, Ingeniero de Sistemas y Computación, Docente Investigador de la Facultad de la Pedagogía de la Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres, Ecuador.
- IV. Ingeniero de Sistemas y Computación, Docente Investigador de la Carrera Tecnologías de la información de la Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres Sede la Concordia, Ecuador.

Resumen

Las redes inalámbricas han evolucionado en el transcurso de los últimos años debido a la necesidad de brindar un ecosistema adecuado para integrar los dispositivos del IoT. Por tal motivo una alternativa de comunicación es el estándar 802.11ax cuyo objetivo es mejorar el rendimiento de conexión de red, pero este enfrenta un gran desafío, y es evaluar las capacidades y limitaciones en diferentes escenarios y entornos. Esto ha motivado para el desarrollo de una revisión bibliográfica en la que se ha buscado determinar las características principales de la tecnología Wi-Fi 6. Esta investigación tiene el fin de impulsar el despliegue tecnológico de IoT analizando el uso de la tecnología Wi-Fi 6 en el caso ecuatoriano. Para el desarrollo de este estudio, se empleó la metodología orientada a la revisión sistemática basados en las guías propuesta por Petersen, se plantearon cuatro preguntas de investigación, las cuales fueron resueltas a partir de 29 estudios primarios recuperados en bases de datos especializadas. Los resultados mostraron que el estándar de estudio brinda una mejor experiencia de usuario debido a la integración de innovaciones importantes como acceso múltiple por división ortogonal, nuevas técnicas de reutilización de canales espaciales, ahorro de energía, seguridad, múltiples usuarios con múltiples entradas y salidas que lo hacen ideal para cubrir lugares con tráfico denso ofreciendo una mejor conectividad para el despliegue de dispositivos IoT. La investigación permite concluir que el estándar posee múltiples oportunidades de implementación en escenarios que requieran un gran uso de ancho de banda o aplicaciones sensibles a la latencia.

Palabras claves: Internet de las cosas; IEEE 802 ax; redes inalámbricas; redes de alta densidad.

Abstract

Wireless networks have evolved over the past few years due to the need to provide a suitable ecosystem to integrate IoT devices. For this reason, a communication alternative is the 802.11ax standard whose objective is to improve network connection performance, but this faces a great challenge, and is to evaluate the capacities and limitations in different scenarios and environments. This has motivated the development of a bibliographic review in which it has been sought to determine the main characteristics of Wi-Fi 6 technology. This research aims to promote the technological deployment of IoT by analyzing the use of Wi-Fi 6 technology. in the Ecuadorian case. For the development of this study, the methodology oriented to the systematic review based

on the guidelines proposed by Petersen was used, four research questions were posed, which were resolved from 29 primary studies retrieved in specialized databases. The results showed that the study standard provides a better user experience due to the integration of important innovations such as orthogonal division multiple access, new spatial channel reuse techniques, energy saving, security, multiple users with multiple inputs and outputs that make it ideal to cover places with dense traffic offering better connectivity for the deployment of IoT devices. The research allows to conclude that the standard has multiple implementation opportunities in scenarios that require high bandwidth use or latency-sensitive applications.

Keywords: Internet of things; IEEE 802 ax; wireless networks; high-density networks.

Resumo

As redes sem fio evoluíram nos últimos anos devido à necessidade de fornecer um ecossistema adequado para integrar dispositivos IoT. Por isso, uma alternativa de comunicação é o padrão 802.11ax cujo objetivo é melhorar o desempenho da conexão de rede, mas este enfrenta um grande desafio, que é avaliar as capacidades e limitações em diferentes cenários e ambientes. Isso motivou o desenvolvimento de uma revisão bibliográfica na qual se buscou determinar as principais características da tecnologia Wi-Fi 6. Esta pesquisa tem como objetivo promover a implantação tecnológica da IoT por meio da análise do uso da tecnologia Wi-Fi 6. Caso equatoriano. Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizada a metodologia orientada à revisão sistemática com base nas diretrizes propostas por Petersen, foram colocadas quatro questões de pesquisa, as quais foram resolvidas a partir de 29 estudos primários recuperados em bases de dados especializadas. Os resultados mostraram que o padrão de estudo proporciona uma melhor experiência do usuário devido à integração de inovações importantes como divisão ortogonal de acesso múltiplo, novas técnicas de reutilização de canais espaciais, economia de energia, segurança, múltiplos usuários com múltiplas entradas e saídas que o tornam ideal para cobrir locais com tráfego denso que oferecem melhor conectividade para a implantação de dispositivos IoT. A pesquisa permite concluir que o padrão possui múltiplas oportunidades de implementação em cenários que requerem alto uso de largura de banda ou aplicações sensíveis à latência.

Palavras-chave: Internet das coisas; IEEE 802 ax; redes sem fio; redes de alta densidade.

Introducción

En la actualidad, existen diversas tecnologías de comunicación que han contribuido al desarrollo parcial del ecosistema de Internet de las cosas (IoT). Entre las más conocidas figuran las siguientes: Bluetooth, ZigBee, 4G, y la conocida Wi-Fi 5 (Salazar, 2017). Cada una de estas tecnologías de comunicación inalámbricas poseen buenas características de conectividad, pero debido al crecimiento acelerado de dispositivos cotidianos conectados a través de canales inalámbricos, no son los suficiente para conectar un mundo de dispositivos inteligentes. Los actuales sistemas de IoT envían grandes cantidades de información que debe ser recopilada, procesada y en muchos casos almacenada, y al no contar con las tecnologías adecuadas deja en evidencia las limitaciones para la transmisión de datos en las redes inalámbricas basadas en los estándares de comunicación más usados en la actualidad (Patel et al., 2016), (Hinojosa & Garcés, 2019).

En su evolución aparece el estándar de comunicación IEEE 802.11ax enfocado en mejorar el rendimiento de una red de área local inalámbrica, también conocida como “WLAN de alta eficiencia” (Islam & Kashem, 2019). Sin embargo, éste posee un problema, la falta de información del nuevo estándar por ser una tecnología nueva en vigente crecimiento en el mundo. En el caso ecuatoriano se agudiza la problemática debido a la poca inversión de empresas públicas y privadas en implementación tecnológica, los altos costos de recursos, la inaccesibilidad de banda ancha en áreas rurales que impide un desarrollo en materia de innovación. Estos son algunos de los indicadores importantes que limitan el despliegue tecnológico del IoT en los diferentes sectores estratégicos (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2019), (Yépez, 2018).

El estándar 802.11ax es un avance muy importante para la evolución de conectividad, pero enfrenta un gran desafío, y es evaluar las capacidades y limitaciones en diferentes escenarios y entornos (Bellalta, 2016). Por lo tanto, es fundamental proporcionar una visión general oportuna para ir a lo específico, partiendo en conocer sus términos de comunicación, funcionalidades, requisitos, seguridad, velocidad, compatibilidad, infraestructura, estándares y certificaciones que permitan determinar su eficiencia en aspecto de rendimiento en entornos de media y alta densidad; es decir, con múltiples dispositivos o puntos de acceso conectados de forma simultánea en una infraestructura inalámbrica.

Sobre este trasfondo, el impulso del nuevo estándar es una solución rentable para acceso inalámbrico a internet que puede satisfacer requisitos de comunicación más actuales en el ámbito doméstico, público y empresarial. Estudios previos mencionan que Ecuador está en condiciones de implementar un buen entorno tecnológico que contribuya al despliegue del IoT.

Actualmente empresas como Huawei, Asus y Cisco impulsan soluciones inalámbricas a través de hardware y software, ofreciendo equipos que brindan una mayor capacidad, una latencia mejorada, una gestión de tráfico más avanzada y una mejor eficiencia energética con seguridad integrada para dispositivos móviles y de IoT (Cisco, 2020). Dichas capacidades brindarán un mayor rendimiento en áreas de alto tráfico como: lugares públicos, estadios, aeropuertos, centros comerciales, campus universitarios, centros de convenciones con el fin de mejorar la experiencia de comunicación de los usuarios (Brown, 2015).

De este modo la presente investigación tiene como objetivo analizar características de la tecnología inalámbrica Wi-Fi 6 con el fin de identificar las mejores soluciones para impulsar el ecosistema del IoT, brindando las bases necesarias para una posible implementación o migración tecnológica, debido a que dichas innovaciones son las más influyentes en el mercado por sus múltiples ventajas y su alta eficiencia de rendimiento.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se establece el marco teórico y un conjunto de trabajos previos relacionados con la presente investigación. En la sección 3, se describe las metodologías utilizadas, en donde se explica el contexto de la investigación. En la sección 4, se muestra los resultados preliminares obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se describe las conclusiones de la investigación y los trabajos futuros.

Desarrollo

En esta sección se presenta un conjunto de conceptos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la presente investigación, en los cuales principalmente encontramos temáticas como: redes de comunicación inalámbrica e IoT.

Para que las redes inalámbricas se pudieran expandir sin problemas de compatibilidad había que establecer estándares, que se define como documentos publicados que establecen especificaciones y procesamientos diseñados para maximizar la confiabilidad de los materiales, productos, métodos y servicios que las personas que usan todos los días (Estrella, 2017). Por ello los principales

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas.

fabricantes de redes inalámbricas decidieron asociarse con el nombre Wi-Fi Alliance, cuya finalidad fue de adoptar, probar y certificar que los equipos fueran compatibles entre sí y fomentar el uso masificado de esta tecnología (Morgan, 2019).

Existen veinte y uno estándares diferentes como muestra la tabla 1, que fueron desarrolladas según las funciones necesarias para el funcionamiento de las redes LAN. Identificados por un número 802.x.

Tabla 1. Categorías de estándares.

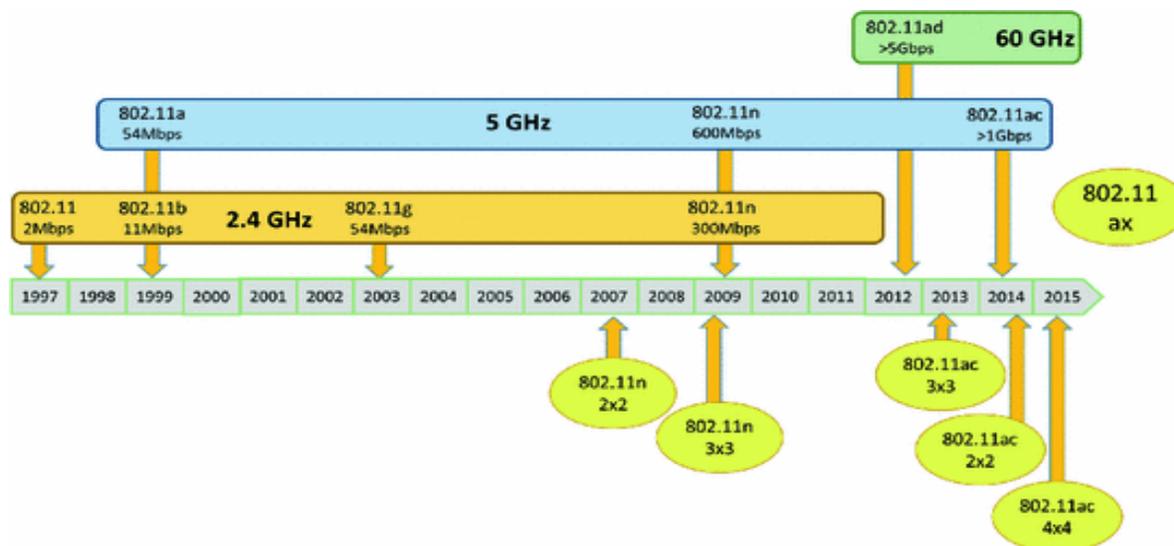
ESTÁNDAR	DETALLE
802.1	Normalización del interfaz con niveles superiores (HLI)
802.2	Control lógico de enlace
802.3	Ethernet
802.4	Token Bus
802.5	Token Ring
802.6	Red Metropolitana (MAN)
802.7	LAN's de Banda ancha
802.8	Fibra Óptica
802.9	LAN's síncrona (para aplicaciones de tiempo real)
802.10	LAN's Seguridad
802.11	LAN's inalámbricas
802.12	Demanda de prioridad
802.14	Módems de cable
802.15	WPAN (Bluetooth)
802.16	Redes de acceso metropolitana sin hilos de banda ancha (WIMAX)
802.17	Anillo de paquete elástico script
802.18	Grupo de asesoría técnica sobre normativas de radio
802.19	Grupo de asesoría técnica sobre coexistencia
802.20	Mobile Broadband Wireless Access
802.21	Media Independent Handoff
802.22	Wireless Regional área network

Fuente: (Walke et al, 2017).

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas.

Para el presente estudio se basó en el análisis de redes inalámbricas perteneciente al estándar 802.11, es fundamental conocer cada uno de los protocolos que ayudan a facilitar la compresión y así determinar características que diferencien al estándar en específico de estudio.

Figura 1. Evolución del estándar 802.11.



Fuente: (Banerji & Chowdhury, 2013).

Estándar 802.11

El estándar 802.11 provocó una revolución en las redes inalámbricas que están destinadas a continuar. Aparte de los edificios y hogares, se han implementado en plazas, trenes, aviones, barcos y automóviles de modo que las personas puedan navegar por internet en cualquier parte que se encuentren (Lara et al., 2016). Sin embargo, no sería suficiente para trabajos complementarios. Por lo tanto, el instituto IEEE estableció varias extensiones para cubrir los diferentes escenarios de conectividad bajo alguna tecnología de comunicación.

IEEE 802.11 a y b.

A finales de septiembre de 1999 surgió el estándar de comunicación IEEE 802.11b, el cual proporciona una velocidad de transmisión de hasta 11 Mbps, en la frecuencia de 2.4 GHz y con un ancho de banda de 20 MHz. Este estándar utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchando por secuencia directa (DSSS). Además, utiliza la tecnología SISO (Simple Input, Single Output),

cuya característica principal es el uso de una sola antena transmisora y una sola antena receptora (Sharma et al., 2013).

Sin embargo, el estándar es propenso a una mayor interferencia debido a que opera en un rango de frecuencia de 2.4 GHz. Por ello surgió el estándar 802.11a, la cual opera una frecuencia de radio de 5 GHz o 3 GHz y un ancho de banda de 20 MHz (Abdelrahman et al., 2015).

Su característica principal es el uso de modulación OFDM (Multiplexación por división ortogonal de la frecuencia), tecnología de espectro expandido. Esta técnica distribuye la información en pequeños paquetes que se transmiten simultáneamente en múltiples canales (Abdelrahman et al., 2015).

Los estándares 802.11a y 802.11b no tienen compatibilidad entre ellos, debido que operan en distintos rangos de frecuencias, y poseen niveles bajos en características de cobertura, capacidad y calidad en comparación de otros estándares.

Estándar 802.11 g

En junio del 2003 se da a conocer un nuevo estándar de modulación llamado 802.11g, una de sus características es que utiliza la banda de 2.4 GHz y puede lograr velocidades de hasta 54 Mbps. El presente estándar puede opcionalmente usar la tecnología OFDMA en lugar de DSS a diferencia del estándar 802.11b (Sharma et al., 2013).

Sin embargo, el estándar surgió otro inconveniente que afectaba al rendimiento de la capa MAC. Se han demostrado que, con velocidades de datos más altas, el rendimiento de la capa MAC disminuye entre el 40 y 50 por ciento de la nueva velocidad, debido a la sobrecarga de la condición de enlaces de los encabezados ocasionando un problema de rendimiento (Banerji & Chowdhury, 2013).

Estándar 802.11 n

Es un estándar que utiliza múltiples antenas para acelerar la transmisión de datos. El objetivo de este estándar es aumentar la capacidad de la red con respecto a los demás estándares anteriores. También aumentó significativamente en la transferencia de datos de 54 Mbs a 600 Mbs y se puede utilizar en dos anchos de bandas de frecuencias de 2.4 GHz o 5 GHz (Peñarrieta, 2019).

El estándar 802.11n emplea varias mejoras en las capas físicas y MAC para mejorar el rendimiento, además incluye la técnica de modulación OFDMA y la tecnología MIMO (Múltiples entradas y Múltiple salidas) que beneficiaran al aumento de velocidad en las tasas de datos debido

a la incorporación de múltiples antenas y canales de transmisión y recepción de datos (Banerji & Chowdhury, 2013).

Una de las ventajas que se considera de las versiones anteriores es su compatibilidad entre sí, de forma que el cliente o usuario solo necesitará un adaptador Wi-Fi integrado, para poder conectarse alguna red.

Estándar 802.11 ac

Es un estándar que tiene por objeto proporcionar un rendimiento agregado de varias estaciones de al menos 1 Gbps en la banda de 5GHz. Esta mejora del rendimiento se obtiene mediante la introducción de nuevas capas físicas (PHY) y medio de acceso a la capa de control, incluyendo más ancho de banda de canal, un mejor esquema de modulación, transmisiones de múltiples entradas de enlace descendente (MU-MIMO), y un mecanismo de agregación de tramas obligatorias (Mosquera, 2019), lo que permitirá mayor velocidad y aumentar el número de clientes conectados simultáneamente a una red inalámbrica. La tecnología MU-MIMO es ideal para servicios en tiempo real como videoconferencias y juegos online.

La extensión de MU-MIMO posee nuevos mecanismos flexibles para mitigar la interferencia de las redes inalámbricas y el manejo de potencia más agresiva. Hoy en día existe tecnologías que ya están incorporando esta tecnología y son los router de nueva generación o AC Wave 2 (Hinostraza & Garcés, 2019). Cuya función está orientada a conectar varios dispositivos al mismo tiempo mediante una red Wi-Fi.

Cabe mencionar que preocuparse por la compatibilidad del estándar es innecesario, ya que está diseñado de una manera profunda para convivir de manera eficiente con 802.11 a y n existente, al mismo tiempo al transmitir más datos en menos tiempo, el estándar ayudará a aumentar el rendimiento de la batería de los dispositivos móviles (Cisco LLC, 2018).

Estándar 802.11ax

Con la evolución de las redes inalámbricas y la necesidad de conectar un mundo de dispositivos electrónicos para el acceso de internet surge el estándar 802.11ax, que tiene como objetivo mejorar la capacidad y confiabilidad inalámbrica para satisfacer una mejor experiencia al usuario.

El estándar y sus nuevas especificaciones se diseñaron originalmente para mejorar las redes inalámbricas adoptando nuevas características en comparación de sus predecesores como, por ejemplo:

- Enlace descendente y enlace ascendente OFDMA.
- Enlace descendente y enlace ascendente MIMO multiusuario.
- Reutilización espacial.
- Consumo de energía reducido.

Cada una de estas características son principalmente extensiones o mejoras en anteriores estándares con las excepciones de OFDMA y reutilización espacial que son características nuevas.

División de frecuencia ortogonal de acceso múltiple (OFDMA)

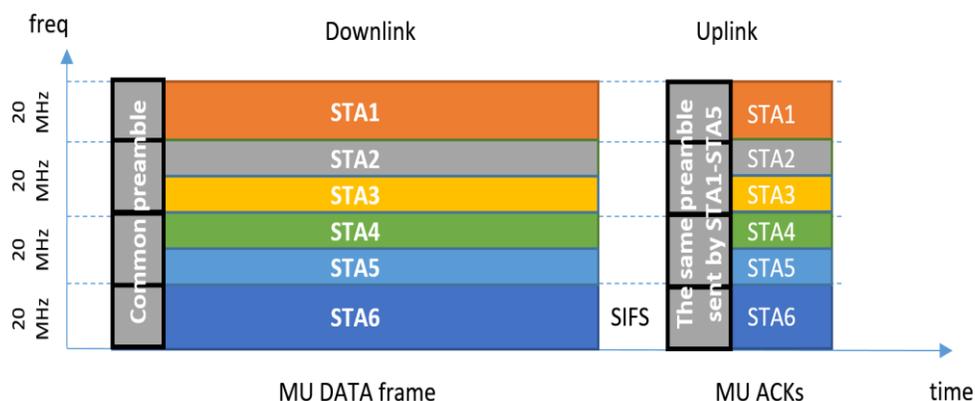
Es una versión multiusuario (MU) del esquema de modulación digital OFDM implementa el acceso múltiple a través de la asignación de subconjuntos de sub-portadoras a usuarios individuales (Pachon, 2015), esto quiere decir que combinan dos o más canales de información en un solo medio de transmisión, de esta manera se le asigna un número diferente de subportadoras a cada uno de los usuarios.

De acuerdo con las últimas investigaciones, la diferencia con la tecnología OFDMA, es que proporciona seis veces mayor rendimiento que la función de coordinación distribuidas (DCF) de anteriores estándares. OFDMA provoca que el acceso a radio Wi-Fi sea más cercano al de sistema celular LTE. Sin embargo, a diferencias de LTE, OFDMA trabaja sobre DCF y es coordinado por los puntos de acceso (AP). OFDMA está basado en tramas, es decir, una trama MU contiene datos de diferentes usuarios y se asignan varios tonos a los usuarios para toda la duración de la trama. OFDMA se basa en un sistema híbrido conocido como FDMA/TDMA. El esquema de FDMA consiste en dividir el espectro disponible en varios canales de frecuencias de manera que cada usuario utiliza a la vez dos canales para su comunicación, uno para el enlace de subida y el otro para el enlace de bajada. Mientras que el sistema TDMA ocupa el ancho de banda disponible total pero solo por un corto periodo de tiempo.

El canal de radio frecuencias se divide en intervalo de tiempo y estos son asignados periódicamente al mismo usuario (Tuñón & Ortega, 2009). Para propósito del proyecto se basará en el estudio de la técnica OFDMA debido a su robustez, reducción de potencia de transmisión de todo el ancho de banda y transferencia de energía en cada sub-canal.

Además, OFDMA, está basado en tramas, es decir, una trama MU contiene datos desde diferentes usuarios y se asignan varios tonos a los usuarios durante toda la duración de la trama tal como indica la figura 2 (Khorov et al., 2019).

Figura 2. Transmisión OFDMA.

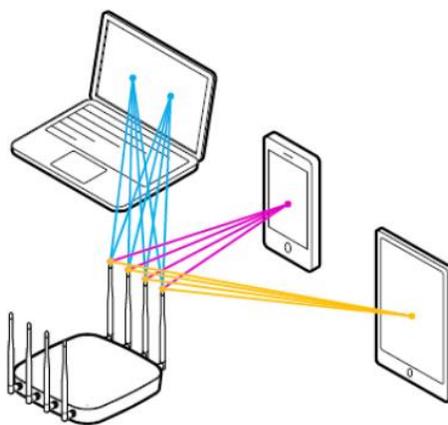


Fuente: (Khorov et al., 2019).

Enlace descendente y enlace ascendente MIMO Multiusuario.

Unos de los avances significativos de este estándar se han realizado en la sección multiusuario. IEEE 802.11ax aprovecha la característica MU-MIMO para una mejor eficiencia de las transmisiones de enlace ascendente y enlace descendente, donde un punto de acceso transmite una trama de control que contiene información de programación y sincronización (Machrouh & Najid, 2018). Debido a la característica MU-MIMO, es posible asignar hasta ocho usuarios a una unidad de recurso. Además, es posible asignar hasta cuatro flujos espaciales por usuario, si el número total de flujos espaciales no excede de ocho (Khorov et al., 2019).

Figura 3. Tecnología MU-MIMO.



Fuente: (Coleman et al., 2018).

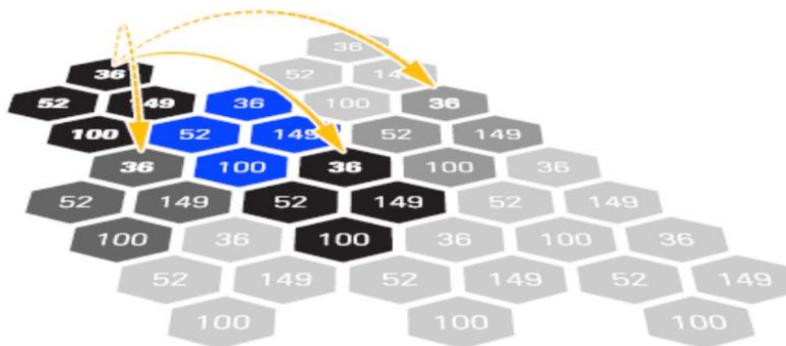
Reutilización espacial

Es la capacidad de permitir que los dispositivos transmitan al mismo tiempo y en el mismo canal evitando la pérdida de tráfico debido a las colisiones producto de interferencia causados por los usuarios Wi-Fi. El estándar 802.11ax para evitar dicha problemática utiliza la técnica de coloración BSS donde su principal objetivo es optimizar la reutilización de frecuencias mediante la asignación de un color diferente lo que permite que los clientes identifiquen los diferentes tráficos y determinar si una trama de transmisión está ocupado tal como muestra la figura 4 (Coleman et al., 2018).

El procedimiento para una radio 802.11ax determinar la detección de portadoras es el siguiente:

1. Si el bit es del mismo color, la trama será considerada una transmisión intra-BSS y la radio que escucha se aplazará.
2. Si el bit es de color diferentes, la radio considerada que la trama es una transmisión BSS y entiende que el medio está ocupado solo por el tiempo que tomo determinar el bit de color que era diferente (Coleman et al., 2018).

Figura 4. Coloración BSS.



Fuente: (Coleman et al., 2018).

Target Wake Time (TWT)

Es un método de ahorro de energía que permite a los dispositivos programar su activación para enviar o recibir datos. Un dispositivo al aumentar su tiempo que permanezca en suspensión mientras no este activo conservar la vida útil de la batería (Mosquera, 2019).

El mecanismo TWT admite transmisiones de enlace ascendente basada en disparos, lo que significa que puede admitir estaciones que no hayan negociado acuerdo con el AP beneficiando la reducción

de la sobrecarga y la ineficiencia del proceso normal de contención de Wi-Fi (Coleman et al., 2018).

Internet de las cosas

IoT es una tendencia emergente que está en constante desarrollo, se prevé que hasta el año 2025 existan más de cien mil millones de dispositivos están conectados a través de distintas tecnologías de comunicación (Rose et al., 2015). El acelerado flujo de información que genera la red no son lo suficientemente eficiente para su administración con las tecnologías vigentes, por ello surge la necesidad de nuevos protocolos de comunicación que sirvan de base para su despliegue como es la tecnología Wi-Fi 6 que constituye el próximo avance en conectividad y una infraestructura clave para la transformación digital.

Los avances tecnológicos han transformado el mundo de las comunicaciones gracias a todas las aplicaciones y tecnologías que se encuentran disponibles en un sistema de conexión universal como es el Internet (Cuzme, 2015), principal modo de acceso de las personas en el Ecuador, según la última encuesta desarrollada en el año 2018 por el instituto nacional de estadística y censo (INEC) se estima que el 55.9% de la población utiliza el servicio de internet en los últimos 12 meses (INEC, 2018). IoT vincula los objetos físicos del mundo real al mundo virtual, permitiendo la creación de entorno y aplicaciones inteligentes (Pachon, 2015). Pero enfrenta algunos desafíos como seguridad, privacidad, interoperabilidad, estándares y aspectos legales que deben ser analizados con mayor detalle antes de una implementación tecnológica.

Evolución IoT

La implementación del IoT promete transformar nuestro estilo de vida, convirtiéndolo más fácil y eficiente. Sectores estratégicos como agricultura, salud, educación, industrias, hogares, ciudades y demás campos están diseñado para implementar despliegues tecnológicos con la ayuda de diversas tecnologías de comunicación como son:

- ✓ **Etiquetas RFID:** La tecnología RFID hace parte de las redes inalámbricas que comunica un lector a un emisor por medio de chips con el fin de rastrear objetos. Esta tecnología trabaja en la banda de 2.4 MGz y es utilizada para controles de acceso, seguimiento de productos, procesos de manufactura en almacenes y tiendas (Medranda, 2016).
- ✓ **Wi-Fi:** Las redes inalámbricas de área local están desplegados principalmente en entorno domésticos y empresarial basado en la topología en malla, la cual pueden usar múltiples

conexiones por medio de un punto de acceso (AP) (Gorshe et al., 2014). Estas redes ayudarán a impulsar los entornos del IoT, ofreciendo una mayor cobertura en comparación de la tecnología RFID.

- ✓ **Redes Móviles:** Con la evolución del estándar móvil desde 2G a 5G permite apoyar el crecimiento acelerado de dispositivos conectados a una red inalámbrica debido a que admiten un gran ancho de banda y rango de cobertura que lo hacen ideal para un completo despliegue del IoT.

Trabajos relacionados

En esta sección se presentan un conjunto de trabajos relacionados con la presente investigación, los cuales se enmarcan temáticas como IoT y estándar de comunicación IEEE 802.11ax, tecnologías influyentes en el mercado que buscan impulsar la industria 4.0 (Salazar & Silvestre, 2014). El uso de aplicaciones que se desarrollan en el marco del IoT brinda muchas oportunidades para crear servicios en beneficio de la sociedad. Según (Yépez, 2018) enfoca su estudio en identificar si Ecuador posee un buen entorno para el despliegue del IoT, para lograr los objetivos, el método de investigación que utilizó es un enfoque primario y secundario con una metodología basada en la literatura. En primer lugar, realizó un análisis de la infraestructura tecnológica actual que posee el país, tanto redes de internet fijas como redes de internet móvil para posteriormente comparar realidades con un país que comenzó a prepararse para su implementación IoT como es Malasia situado en el sudeste asiático. Como resultado concluyó que el país cuenta con una plataforma necesaria que puede respaldar el despliegue de tecnología IoT, lo que aporta a la investigación bases importantes y relevantes para establecer un plan estructurado de posibles soluciones tecnológicas e identificar las mejores aplicaciones que puedan dar un mayor beneficio al país.

En (Yang et al., 2018) describe dos características claves del estándar 802.11ax como son: OFDMA que puede proporcionar una ganancia de rendimiento superior al 20% en comparación con el estándar IEEE 802.11ac y la tecnología MU-MIMO eficaz para transmisiones múltiples con paquetes más largo mediante una sola trama, además refiere mejoras adicionales que incluye agregación de múltiples TID, extensión de reconocimiento de bloque (BA), modulación de amplitud en cuadratura 1024 (QAM) y tiempo de despertar objetivo (TWT). Como resultado obtuvieron que el estándar de estudio generará una alta eficiencia de rendimiento por usuario hasta

cuatro veces más sobre el estándar IEEE 802.11ac y su uso es ideal para escenarios densos. Mediante este artículo científico se corroboró la importancia de incluir el análisis y descripción de sus características principales que presenta el estándar en mención.

El presente estudio basó su investigación en contrastar el uso de sensores inalámbricos (WSN) conectados a través de canales inalámbricos con el IoT, desde una visión general conceptual, con el objetivo de describir la relación entre ellos y resaltar sus diferencias. Unos de los puntos a destacar es que IoT y WSN poseen requisitos de aplicación similares. Sin embargo, el requisito que comparten directamente es el Internet, aunque en diferentes grados de relevancia. Por una parte, WSN prioriza la gestión de recursos limitados. Por otro lado, los atributos de seguridad, escalabilidad, heterogeneidad y QoS son actividades más complejas en IoT que WSN, principalmente debido a que IoT integra varias tecnologías de Hardware y Software, protocolos de comunicación y otras características (Manrique et al., 2017). Mediante este artículo se corroboró la importancia de WSN como una tecnología integrada en el ecosistema IoT, debido a que puede aprovechar Internet para beneficios de redes informáticas y M2M.

En otro enfoque, se realizó un sistema de monitoreo para la recolección de datos meteorológicos usando una red WSN y plataformas de IoT, capaz de transmitir datos en tiempo real, automatizando proceso de obtención de datos de manera continua y a largo plazo, por medio de abastecimiento de energía solar que permite autonomía para su funcionamiento. Además, empleó protocolos de comunicación estándar que facilitan la escalabilidad y reconfiguración de nodos, que garantiza de manera continua y a largo plazo su funcionamiento con la ayuda de tecnologías inalámbricas (Cuenca, 2016). Así, este artículo identificó un aporte sustancial en la utilización de la topología Mesh, también conocida como redes de malla, el cual ofrece muchos beneficios como: flexibilidad, fiabilidad y óptimos niveles de consumo a la hora de implementar una infraestructura de red.

En función de lo referenciado este artículo tiene como objetivo presentar las características y aspectos más relevantes y de mayor impacto de la tecnología de comunicación inalámbrica estándar IEEE 8002.11ax, mediante una revisión bibliográfica compara y describe las principales diferencias entre el estándar de estudio y versiones anteriores. Además, introduce otras innovaciones importantes como funcionalidades de la capa física o PHY, extensión de tecnología de múltiple usuario, múltiple entrada y múltiple salida (MU MIMO) (Hinojosa & Garcés, 2019) y el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) que proporcionan un alto

rendimiento de datos y mantendrá una política mejorada de acceso (Islam & Kashem, 2019). Todos estos temas brindan un mayor alcance de conocimiento que sirven de bases teóricas para la presente investigación.

Metodología

Para la selección de literatura relevante se utilizó una metodología de revisión sistemático basado en las guías propuesta por (Kitchenham et al., 2009) y las recomendaciones actualizadas por (Petersen et al., 2015) el cual brindan un método eficaz para construir clasificaciones y obtener información sobre el conocimiento existente en una temática específica. Esta metodología es utilizada frecuentemente como base para profundizar en trabajos de investigaciones futuras.

Preguntas de investigación

Debido a la llegada de nuevas tendencias tecnológicas de comunicación como es el caso de Wi-Fi 6 han generado un incremento del interés en la comunidad científica de conocer cómo se relaciona dicha tecnología para futuras implementaciones en escenarios de IoT. Por ello se intenta responder 4 preguntas de investigación, consideradas relevantes por los autores que se detallan a continuación:

1. RQ1: ¿Cuáles son las características principales del estándar de comunicaciones inalámbrica IEEE 802.11ax?
2. RQ2: ¿Cuáles son las características principales y protocolos que utiliza el IoT para una posible implementación tecnológica?
3. RQ3: ¿En qué escenarios y condiciones se podría implementar el estándar de comunicación inalámbrica IEEE 802.11ax para el despliegue del IoT en Ecuador?
4. RQ4: ¿Cuáles son las fortalezas y oportunidades del estándar de estudio en la implementación de la tecnología Smart City?

Fuentes de información

Para iniciar el proceso de búsqueda literaria se definió la cadena de búsqueda (SS) a partir de las preguntas de investigación definidas. Los términos primarios están constituidos por las palabras (Internet de las cosas, IoT) e (IEEE 802.11ax, Wi-fi 6) que forman parte al área de estudio. En base a esto la estructura de la búsqueda se define a continuación:

- SS1: (IEEE 802.11ax OR Wi-fi 6 OR Wi-Fi 6 AND Internet of things OR iot).

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas.

- SS2: (Communication protocols OR protocols wireless AND Internet of things OR iot).
- SS3: (Smart City OR Smart Home AND Internet of things OR iot).

Una vez definidas las SS, se procedió a realizar una búsqueda literaria para obtener las fuentes de información primaria (PIS), para su desarrollo se consideraron dos bases de datos documentales (Scopus y Web of science) y cuatro bibliotecas digitales especializadas (IEEE xplora, Scielo y Springer). Para una información más detallada se representa en la tabla 2.

Tabla 2. Identificador de bases de datos.

PIS	FUENTE	URL
PIS 1	Scopus	https://www.scopus.com/
PIS 2	Web of science	https://webofknowledge.com/
PIS3	IEEE xplore	http://ieeexplore.ieee.org/
PIS5	Sciencedirect	http://www.sciencedirect.com/

Fuente: Elaboración autores.

Criterios de inclusión y exclusión

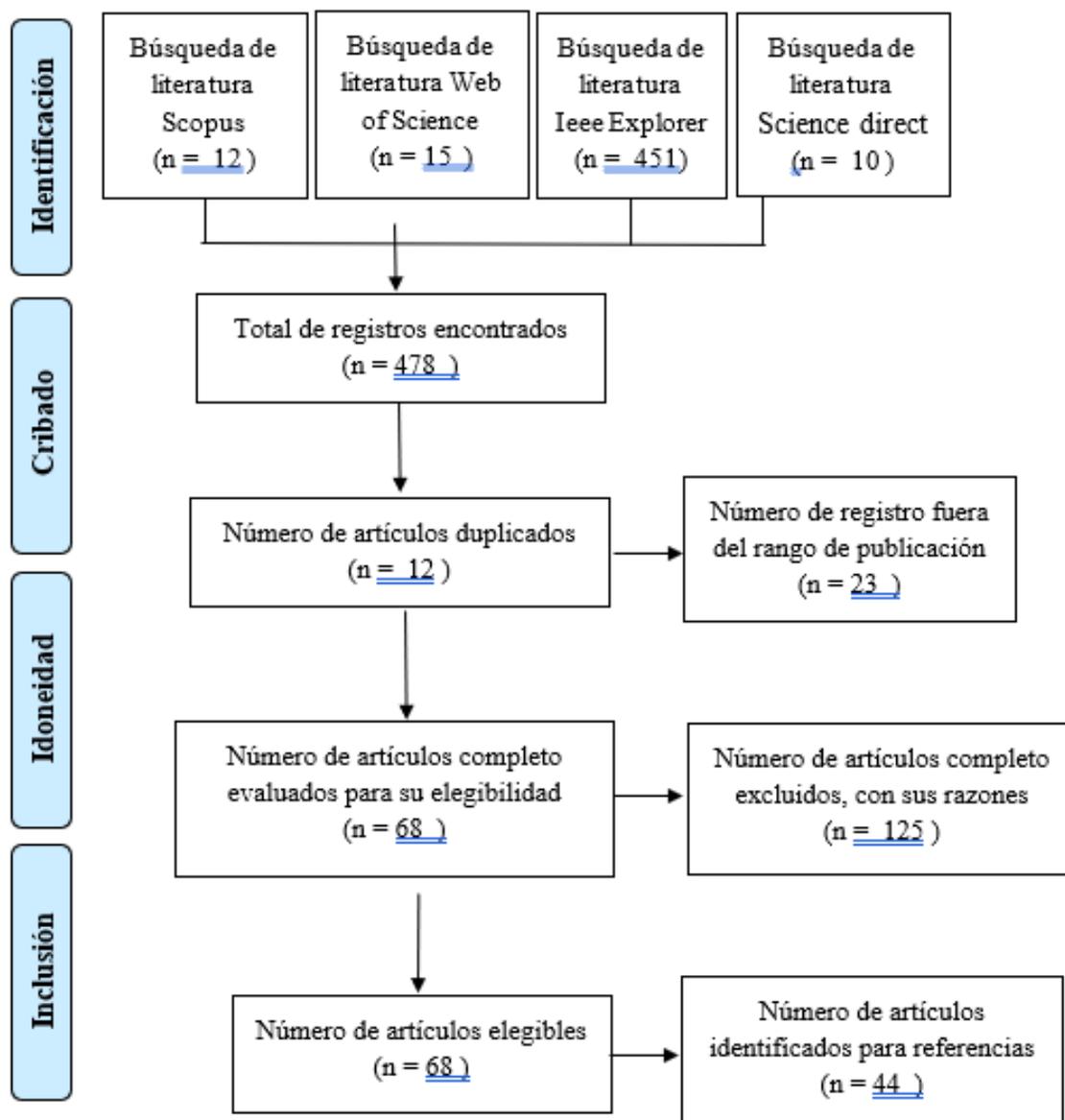
A continuación, se detallan los criterios de inclusión y exclusión del protocolo de búsqueda utilizado para la etapa de filtrado de los artículos.

Se consideran relevantes y se incluyen aquellos resultados de búsqueda que:

1. Se incluyeron publicaciones científicas publicados entre el año 2015 al 2020.
2. Se incluyeron estudios en idioma español e inglés.
3. Se incluyeron publicaciones que estaban enfocados en describir características del estándar IEEE 802.11ax, internet de las cosas, Smart home y Smart Cities.
4. Se incluyeron publicaciones que identifiquen los beneficios y desafíos actuales de las tecnologías de estudio.
5. Se incluyeron publicaciones de tipo: Journal y conference paper.
6. Se excluyeron artículos con revisiones terciarias, ni actualizaciones de revisión.
7. Se excluyeron publicaciones duplicadas.

En la búsqueda se encontró en total 53 artículos potencialmente útiles, pero al aplicar los criterios de inclusión y exclusión establecidos, fueron seleccionados 29 publicaciones primarias relevantes en el área de estudio. El proceso de selección y extracción de datos se realizó el diagrama de flujo Prisma (Liberati et al., 2009) que se detalla en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de flujo prima.



Fuente: Elaboración autores.

Resultados

En esta sección se analizan los contenidos de los estudios primarios según su contenido para resolver las preguntas de investigación. Se observa un interés creciente en las propuestas del IoT en los últimos años. Entre 2016 y 2020 se encontraron el 96% del total de las propuestas identificadas en el mapeo. La búsqueda fue realizada en octubre del 2020. El detalle de todos los resultados de la revisión sistemática se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://bit.ly/38MjsdD>.

A continuación, se describe los resultados de la clasificación propuesta para responder las siguientes preguntas de investigación:

RQ1: ¿Cuáles son las características principales del estándar de comunicaciones inalámbrica IEEE 802.11ax?

La tecnología de red de área local inalámbrica evoluciona continuamente para mantener el ritmo creciente de usuario, dispositivos, conexiones y aplicaciones que cada vez consumen un mayor ancho de banda, frente a ello el estándar 802.11ax ofrece mejoras continuas que fue concebido bajo nuevas características basados en las fortalezas de su antecesor estándar como se muestra en la tabla 3 (Yang et al., 2018).

La tecnología OFDMA es un avance innovador, debido a que agrega un nuevo grado de flexibilidad al uso del espectro con el fin de reducir latencia y sobrecarga. Aprovechando las subportadoras del canal para enviar simultáneamente información a múltiples usuarios mediante el uso de canales independientes de 20, 40, 80 Y 160 MHz de ancho de banda que se dividen en múltiples sub-bandas mutuamente excluyente llamadas unidades de recursos (RU); como resultado, las transmisiones concurrentes de tramas pequeñas y de múltiples usuarios son posibles al mismo tiempo (Naik et al., 2018) (Lee et al., 2018b).

Esta tecnología tiene muchas ventajas como el determinismo y una mayor eficiencia a través de la reducción de colisiones y contención. Con OFDMA se tiene una RU de enlace descendente (DL) más granular de tiempo y frecuencia, igualmente se tiene una forma de asignar unidades de recursos en el enlace ascendente (UL), lo que significa que DL OFDMA transmite datos a múltiples estaciones simultáneamente usando una RU diferente para cada estación, mientras UL OFDMA varias estaciones transmiten datos a AP al mismo tiempo y cada estación usa una RU diferente (Daldoul et al., 2020).

Otra característica significativa es el uso de la tecnología MU-MIMO, permitiendo que la transmisión de múltiples tramas a varios usuarios al mismo tiempo en el mismo espectro de frecuencias (González, 2017). Por lo tanto, permite que un AP entregue un mayor número de datos a los usuarios asociados, especialmente para aquellos que están limitados a una sola antena.

Las tecnologías OFDMA y MU-MIMO proporciona técnicas complementarias que permite una mayor capacidad, cobertura y rendimiento enfocados a entornos de alta densidad, es decir la tecnología MU-MIMO permite el acceso multiusuario por medio de diferentes flujos especiales al mismo tiempo, mientras que OFDMA se encarga de dividir el ancho de banda del canal para atender a varios usuarios simultáneamente (Mosquera, 2019). Además, OFDMA es ideal para AP debido a que puede distribuir la asignación de canales de manera eficiente y la repartición de las RU según el número de dispositivos que requieran conectarse (Naik et al., 2018).

Para abordar estas problemáticas se optimiza la reutilización espacial con la técnica denominada coloración BSS (BSS Coloring), que es un mecanismo que codifica de forma inteligente las frecuencias compartidas mediante la asignación de un color diferente. A diferencias del estándar 802.11ah que utilizaba un BSS de 3 bits, el nuevo estándar para disminuir la probabilidad de colisión de color aumentó la longitud del campo BSS a 6 bits. En caso de existir una colisión los AP pueden automáticamente iniciar el proceso de cambio de color BSS, lo que permitirá mejorar el rendimiento a nivel del sistema y optimizar la reutilización eficiente del espectro en áreas con altas densidad. Las interferencias se reducirán de manera eficiente, especialmente adecuadas para escenarios de implementación densa (Mosquera, 2019).

La nueva capacidad implementada es el modo de ahorro de energía llamado Target Wakeup Time (TWT) que permite a los dispositivos negociar con el AP cuándo y con qué frecuencias se despertarán para enviar o recibir datos, aumentando el tiempo de suspensión y mejorando sustancialmente la duración de la batería de los dispositivos, es decir los dispositivos permanecen inactivos hasta que les toca transmitir datos mediante un esquema de programación negociado con los AP (Lee et al., 2018).

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas.

Tabla 3. Características principales estándar 802.11ax.

CARACTERÍSTICAS	ESTÁNDAR 802.11 AX
BANDAS	2,4 y 5 GHz
ANCHO DE BANDA	20, 40, 80 y 160 MHz
MODULACIÓN	1024-QAM
VELOCIDAD DE DATOS	10 GHz
OFDMA	Menor Latencia Menor congestión con varios dispositivos
MU-MIMO	Simultanea de subida y bajada Mejor velocidad en redes con muchos dispositivos
COLORACIÓN BSS	Menos interferencias
TARGET WAKE TIME	Mejor Ahorro energético.

Fuente: Elaboración autores.

RQ2: ¿Cuáles son las características principales y protocolos que utiliza el IoT para una posible implementación tecnológica?

La idea básica del término de IoT se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, redes de sensores, software y dispositivos, mediante el uso de esquemas de direccionamiento IP que pueden interactuar entre sí.

En el futuro, las capacidades de detección, comunicación y procesamiento digital se integran de manera ubicua e inteligente con los objetos cotidianos. Los dispositivos inteligentes podrán recopilar, transmitir y procesar información de manera instantánea utilizando tendencias de complemento como computación en la nube, Big data y tecnologías similares.

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y WLAN desempeñan un papel importante en la mejora de transferencia y el procesamiento de la información. Por lo tanto, conocer los protocolos de comunicación se vuelve indispensable para conocer las oportunidades del ecosistema del IoT.

Por lo general, los protocolos de comunicación para IoT se pueden clasificar en redes de área amplia de bajo consumo (LPWAN) y redes de corto alcance.

El protocolo de comunicación más antiguo de corto alcance es la identificación por radiofrecuencias (RFID), que se compone de un dispositivo de lectura llamado lector y un transpondedor de radiofrecuencia llamado etiqueta RF (Medranda, 2016). Esta etiqueta está programada electrónicamente con información única que tiene una característica de lectura a distancia, pero su principal vulnerabilidad son los ataques físicos debido a que los atacantes pueden llegar a manipular o interferir en el contenido de las etiquetas de RF y bloquear los canales de comunicación. Sin embargo, el crecimiento exponencial de tecnologías y la productividad de la industria han acelerado el desarrollo de nuevos protocolos de comunicación como son: Bluetooth, ZigBee, 6Lowpan, z-wave.

De todos los protocolos disponibles, los más utilizados actualmente en las redes inalámbricas son los de bajo consumo como ZigBee, bluetooth y Wi-Fi. Protocolos como Bluetooth y ZigBee tienen en común debido a que solo permite el intercambio de datos entre dispositivos con integren el mismo protocolo, a diferencia Wi-Fi permite la conexión con distintos protocolos para obtener accesos a Internet. Pero su limitación es el excesivo consumo de potencia que provoca retardos de red. De esta forma, para poder aplicar las redes en beneficios del IoT se crea el estándar 6LoWPAN que admite diferentes tipos de topologías como malla y estrella y la adaptación entre la capa MAC y la capa de red del protocolo IPv6 (Al-Sarawi et al., 2017).

Este nuevo estándar IPV6 ha sido diseñado para infraestructuras de internet con un gran ancho de banda, y además debido al crecimiento acelerado de dispositivos conectados a internet no puede ser abastecido por el estándar antecesor IPV4 por lo cual el nuevo estándar posee varias características, tales como: enrutamiento del Internet más competente, mejora en el procesamiento de paquetes de datos, configuración de red simplificada, seguridad de transmisión mejorada.

Las redes LPWAN se diferencia de las redes de corto alcance debido a que están diseñadas para el transporte inalámbrico de datos entre dispositivos separados por distancia en el rango de kilómetros y sus bajos consumo eléctrico debido al uso de baterías permiten una duración de años. Entre los protocolos más usados encontramos; SigFox, LoRaWAN y Redes celulares (Santhadevi & Janet, 2018).

SigFox es una tecnología opera en las bandas 1 GHz sin licencia con bajo consumo energético, utilizados en sensores y aplicaciones M2M y puede llegar alcanzar hasta 50 Km de distancia entre comunicación inalámbrica. Esta tecnología está diseñada para manejar velocidades de transferencia

de datos entre 10 a 1000 bits por segundo y puede funcionar con una batería pequeña, mientras que el protocolo LoRaWAN puede llegar alcanzar distancia hasta 15 km de alcance (Lavric et al., 2019) que se pueden evidenciar en la tabla 4.

Las tecnologías celulares son ideales para aplicaciones que necesita datos de alto rendimiento y tienen una fuente de energía de aplicaciones IoT que requiere operaciones en distancia más larga. Puede aprovechar las capacidades de comunicación celular 5G que proporcionan mayor velocidad en la transmisión de datos y menor latencia.

Tabla 4. Comparativa entre los principales estándares inalámbricos.

Estándar	Frecuencia	Rango Cobertura	Tasa de Transmisión	Número de Nodos	Consumo de Energía (Batería)
WIFI 6	2,4 GHz y 5 GHz	25 - 50 m y Mayor	10 Gbps	500	Alto (días)
5G	700 MHz y 3,5 GHz	Según la infraestructura	10 Gbps	100	Alto (días)
SIGFOX	900 - 868 MHz	30 - 50 km	0,3 Kbps	250	Bajo (Años)
LORAWAN	150MHz - 1GHz	10 - 15 Km	0,3 Kbps	250	Bajo (Años)
BLUETOOTH	2,4 GHz y 5 GHz	10 - 30 m	1 Mbps	8	Bajo (Años)
ZIGBEE	2,4 GHz	> 100 m	250 Kbps	500	Bajo (Años)

Fuente: Elaboración autores.

Como referencia de acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que el estándar de estudio mejora la eficiencia energética en entornos que requieren de transmisión de tráfico de audio y video en tiempo real, a cambio de reducir la duración energética de la batería de los dispositivos por días. Mientras en entornos que utilicen redes de sensores e IoT donde su principal objetivo es la capacidad de soportar un gran número de dispositivos al mismo tiempo y no por requerir una gran tasa de intercambio de datos entre sus dispositivos, estándares como Zigbee, Bluetooth o Lorawan se presenta como una solución rentable debido a su eficiencia energética (Cifuentes, 2020).

RQ3: ¿En qué escenarios y condiciones se podría implementar el estándar de comunicación inalámbrica IEEE 80211ax para el despliegue del IoT en Ecuador?

Las redes inalámbricas son una solución rentable para el acceso a internet que puede satisfacer la mayoría de los requisitos de comunicación actuales en escenarios domésticos, públicos y comerciales.

Los sistemas de hogares inteligentes pueden ser un desafío debido a la evolución de los estándares de conectividad lo que permite a las personas controlar, monitorear, administrar y automatizar los aparatos electrónicos como computadoras, cámaras de seguridad, electrodomésticos, teléfonos móviles de manera inteligente y automática a través del internet. En consecuencia, se necesita implementar routers inalámbricos que sea compatible con el estándar Wi-Fi 6 para obtener mayor número de dispositivos conectados, mayor alcance y cobertura incluso en espacios saturados (Malche, 2017).

En escenarios interiores donde existan alta densidad de acceso inalámbrico a internet como son escuelas educativas, universidades, redes domésticas, estadios, aeropuertos, centros comerciales, gobiernos autónomos, medianas y grandes empresas representa una solución rentable basada en una arquitectura de red abierta y versátil que permite mejoras con respecto a velocidad de datos, latencia y múltiples conexiones simultáneas. A diferencia de la tecnología 5G que está orientado para escenarios abiertos.

Entre los principales fabricantes de dispositivos inalámbricos compatibles con Wi-Fi 6 son: Cisco, Huawei y Asus que impulsan soluciones inalámbricas a través de hardware y software como se muestra en la tabla 5. Los datos fueron obtenidos de la tienda online amazon.com.

Tabla 5. Principales Routers con tecnología Wi-Fi 6.

Fabricante	Modelo	Precio	Consumo Energía	Velocidad	Potencia
CISCO	Catalyst 9115AX	1250	802,3at (PoE +)	Hasta 5,38 Gbps	2,4 GHz -> 3 dBi 5 GHz -> 4 dBi
CISCO	C9130AXI-B	985	802,3at (PoE +)	Hasta 5,38 Gbps	2,4 GHz -> 4 dBi 5 GHz -> 6 dBi
CISCO	Meraki go	165,7	802,3at (PoE +)	Hasta 5,38 Gbps	2,4 GHz -> 5,6 dBi 5 GHz -> 5,3 dBi

Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas.

HUAWEI	AP7060DN	795	25,4 W	Hasta 6 Gbps	2,4 GHz -> 24 dBi 5 GHz ->27 dBi
ASUS	RT-AX92U	216	802,3at (PoE +)	Hasta 4,7 Gbps	2,4 GHz -> 2x2 5 GHz -> 4x4
TP-LINK	AX1500	79,99	802,3at (PoE +)	Hasta 1,5 Gbps	2,4 GHz -> 20 dBm 5 GHz -> 23dBm

Fuente: Elaboración autores.

Sin embargo, en el caso ecuatoriano no existe un tipo de protocolo de internet que cubra todos los proyectos tecnológicos para un completo despliegue IoT, en este contexto el protocolo Wi-Fi 6 solo es factible en escenarios que requieran una gran cantidad de ancho de banda con una cobertura de transmisión limitada bajo el espectro radioeléctrico en bandas de 2.4 GHz y 5GHz. Es por ello la tecnología 5G es la más idónea para abordar diferentes casos de despliegue del IoT, debido a sus ventajas como son: baja latencia, alto rendimiento y mayor cobertura capaces de satisfacer las mayores demandas digitales; Para su funcionamiento deberá emplear las bandas desocupadas que tiene disponible el país, es decir la banda C y las milimétricas pero esto implica que los proveedores de comunicaciones como el gobierno trabajen conjuntamente para la construcción de una infraestructura tecnológica acorde y establecer un marco legal para el control y gestión del espectro radioeléctrico y así brindar un correcto acceso, disponibilidad y seguridad a los usuarios.

Un aspecto relevante para lograr un despliegue IoT en un escenario interior determinado son sus costos de implementación, para lo cual el estándar Wi-Fi 6 dependerá principalmente del objetivo final de cada proyecto TI, pero posee ciertas ventajas como: mayor facilidad de instalación, trabaja en bandas de frecuencias libres y mayor cobertura del servicio que lo convierte en una excelente opción para una posible implementación o migración dentro de una infraestructura tecnológica. No obstante, los costos de dispositivos son altos y su disponibilidad regular.

RQ4: ¿Cuáles son las fortalezas y oportunidades del estándar de estudio en la implementación de la tecnología Smart City?

El enfoque de ciudad inteligente se ha vuelto cada vez más relevante y de interés en la comunidad científica por su importancia social y económica para un desarrollo integral. Con el fin de mejorar

la gestión de los procesos urbanos y las necesidades de los habitantes, ejecutan modelos tecnológicos que brindan conectividad, sostenibilidad, seguridad y atractivo turístico (Rhee, 2016). Las ciudades inteligentes por lo general utilizan protocolos de comunicación 5G, Wi-Fi 6 o SigFox con el fin de lograr una mayor cobertura de comunicación. Entre los elementos incluyen sensores, cámaras, protocolos de comunicación, modelo de aprendizaje automático, y dispositivos integrados que contribuyen al despliegue del ecosistema de IoT.

Hay muchos desafíos como oportunidades que surgen en la construcción de ciudades inteligentes sostenibles, al integrar tecnologías como Big data, Cloud Computing, Blockchain e IoT consumen una cantidad significativa de energía, para lo cual requieren estrategias o técnicas como la utilización de paneles solares fotovoltaicos que funciona con energía no renovable lo que genera un recurso inagotable y no contamina al medio ambiente (Bangui et al., 2017).

Los sistemas IoT orientados al video y datos en tiempo real pueden construir la base de una ciudad más segura e inteligente. En este sentido, los datos de videos y los sensores se convierten en un recurso estratégico capaz de generar información crítica sobre la gestión de la ciudad y su funcionamiento. Los sistemas de videovigilancia en combinación con big data puede reducir los tiempos de respuesta de emergencias ciudadana y ofrecer mejor información sobre la situación.

Un factor importante que se originó por la emergencia sanitaria Covid-19 fue la inclusión del teletrabajo en varias empresas públicas y privadas, lo que generó una mejor movilidad, reduciendo índices de contaminación, viajes e impulsa el uso y apropiación de las nuevas tecnologías. En este contexto el teletrabajo contribuye al desarrollo de las ciudades inteligentes porque uno de los componentes es la movilidad inteligente, pensando en crear nuevas alternativas para que las personas dejen de utilizar transporte motorizado.

En el caso ecuatoriano la implementación de ciudades inteligentes es una iniciativa que cobra impulso debido al aumento de proyectos que promueven generar infraestructura tecnológica o servicio digital como son: proyectos de construcción de transporte subterráneo, cobro de peaje electrónico, instalación de fibras ópticas, acceso gratuito a internet en algunos sectores del país, servicio integrado ecu 911, todo son esfuerzos para disminuir la brecha digital. Pero en contraparte se necesita disponer de una infraestructura tecnológica eficiente, fomentar la innovación en el sector educativo, participación económica del sector público y privado, impulsar una cultura

tecnológica en la ciudadanía para enfrentar los desafíos de la industria 4.0 (Tintin et al., 2015) (Yépez, 2018).

Discusión

A partir del análisis de los resultados de RQ1, observamos que las principales características del estándar de estudio es permitir que los puntos de acceso admitan múltiples usuarios simultáneos en entornos densos y brindar una mejor experiencia para las redes inalámbricas típicas. También potencia un rendimiento más predecible para aplicaciones avanzadas como video 4K/8K, streaming, realidad aumentada, ultra HD e IoT. Estos beneficios se logran debido a la implementación de características importantes como OFDMA, MU-MIMO, BSS Coloring, TWT y WPA3. Además, el estándar está diseñado para ser compatible con dispositivos que tenga protocolos anteriores de 802.11 a/g/n/ac, por lo tanto, no causara problemas con la infraestructura existente (Lee et al., 2018).

Para el análisis de los resultados de RQ2, se identificó que IoT está transformando casi por completo los sectores claves de la sociedad, y continuará generando innovaciones en el futuro. En la actualidad los dispositivos están conectados a una variedad de tecnología inalámbricas, cada una con sus especificaciones y beneficios según los casos de uso, estas son: redes inalámbricas de corto alcance y LPWAN. Dentro de cada tecnología existen varios estándares que han sido desarrollando con el tiempo para conectar dispositivos inteligentes, entre estas se encuentran tecnologías celulares y SigFox que ofrecen una mayor cobertura con espectro autorizado. Mientras que las tecnologías de corto alcance que utilizan espectro sin licencia, tales como: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee y Z-wave (Al-Sarawi et al., 2017).

Para el análisis de los resultados de RQ3, se concluyó que el estándar de comunicación inalámbrica IEEE802.11ax es factible su despliegue IoT en varios escenarios, entre estos se encuentra: campus universitario, estadios, centros comerciales, hogares inteligentes, aeropuerto y empresas son los escenarios más idóneos para implementar una infraestructura tecnológica que sea compatible con Wi-Fi 6 debido a que esta tecnología está orientado a conectar accesos múltiples de usuarios a Internet, pero no posee un rango superior de cobertura como si lo ofrece la tecnología 5G que conjuntamente se convertirán en una de las principales tecnologías inalámbricas para el despliegue IoT.

El estándar posee múltiples oportunidades de implementación en los escenarios ya descrito anteriormente, para ello es necesario realizar estudios del lugar para una mejor arquitectura, teniendo en cuenta que el rango de radiofrecuencia de propagación de 2,5GHz y 5GHz y además los dispositivos inalámbricos sean compatibles con la tecnología Wi-Fi 6. En la actualidad no hay muchas empresas que oferten estos dispositivos debido a sus costos elevados y altos impuestos imposibilitan su adquisición.

Por último, según el análisis de los resultados de RQ4, se determinó que la mayoría de los servicios de las ciudades inteligentes funcionan sobre una arquitectura centralizada, desplegando un conjunto de dispositivos heterogéneos sobre el área urbana generando diversos tipos de datos estructurados que son transferidos a través de una tecnología de comunicación adecuada hacia un centro de control para su posterior almacenamiento y procesamiento. Por ende, se concluyó que el estándar de inalámbrico Wi-Fi 6 no es factible para implementar en ciudades inteligentes debido a que no reúne las características mínimas. En contraparte los protocolos de comunicación inalámbrica 5G, SigFox y 6LoWPAN son las más apropiados para el despliegue de ciudades inteligentes (Zanella et al., 2014).

Conclusiones

En este artículo se presentó una revisión sistemática de literatura que sirvió para conocer las nuevas oportunidades y desafíos que enfrenta la comunicación inalámbrica para el despliegue del IoT. Los principales estudios primarios identificaron características (RQ1) que mejoraran el manejo de múltiples dispositivos de forma eficiente a través de su capacidad de compartición de canales, reutilización de frecuencias espacial, técnicas de multiplexación simultánea y eficiencia energética que proporcionan una mejor experiencia al usuario principalmente en escenarios con alta densidad de dispositivos conectados.

Los dispositivos IoT están conectados a una variedad de tecnologías inalámbricas existente en el mercado, cada una ofreciendo diferentes coberturas y velocidades de acuerdo con sus casos de uso (RQ2). Para su integración con las redes Wi-Fi radica en su fácil y bajos costos económicos de implementación en comparación con otras tecnologías bajo licencia. Entre los escenarios idóneos (RQ3) se encuentra estadios, centros comerciales, campus universitarios, Smart Home, aeropuertos, empresas e industrias debido a que está orientado a conectar accesos múltiples de

usuarios en redes de corto y mediano alcance. A diferencia, para escenarios de libre movilidad se considera apropiado el uso de la tecnología 5G, SigFox y 6LoWPAN debido a su mayor rango de cobertura apropiado para el despliegue de ciudades inteligentes.

La tecnología Wi-Fi 6 y 5G son el futuro de la conectividad para el despliegue del IoT, pero posee ciertas limitaciones debido a los altos costos de los servicios de Internet, baja penetración de Internet de banda ancha en zonas rurales, falta de políticas gubernamentales impiden un total despliegue tecnológico en el país. Además, se debe desarrollar un plan estructurado de construcción de IoT, con la integración de empresas e instituciones públicas y privadas que contribuyan el aprovechamiento de las aplicaciones de IoT y generen un mayor impacto tecnológico y la oportunidad de crecimiento económico en el Ecuador.

Como trabajo futuro se propone un análisis de factibilidad para la implementación de una arquitectura de red basado en el estándar IEEE 802.11ax en los escenarios planteados anteriormente para medir el rendimiento de enlaces, latencia, seguridad, densidad de usuarios, cobertura, pérdidas de señal y calidad de servicio con el fin de conocer su eficiencia general de la red.

Referencias

1. Abdelrahman, R. B. M., Mustafa, A. B. A., & Osman, A. A. (2015). A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, 17(5), 26–29.
2. Al-Sarawi, S., Anbar, M., Alieyan, K., & Alzubaidi, M. (2017). ICIT 2017 : the 8th International Conference on Information Technology : Internet of Things IoT : conference proceedings : May 17th - 18th, 2017, Amman, Jordan. *International Conference on Information Technology (ICIT) Internet*, 697–702.
3. Banerji, S., & Chowdhury, R. S. (2013). On IEEE 802.11: Wireless Lan Technology. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, 3(4), 45–64. <https://doi.org/10.5121/ijmnct.2013.3405>
4. Bangui, H., Buhnova, B., Rakrak, S., & Raghay, S. (2017). Smart mobile technologies for the city of the future. *2017 Smart Cities Symposium Prague, SCSP 2017 - IEEE Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/SCSP.2017.7973851>

5. Bellalta, B. (2016). IEEE 802.11ax: High-efficiency WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 23(1), 38–46.
6. Brown, B. (2015). 5 Things to Know About ISIS. *Junior Scholastic*, 117(12), 9.
7. Cisco. (2020). *IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi*. 1–16.
8. Cisco LLC. (2018). 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi. *Cisco.Com*, 1, 1–20.
9. Cuenca, M. (2016). *Área De La Energía , Las Industrias Y Los Recursos Naturales No Renovables*. 1–30.
10. Cuzme, F. (2015). EL INTERNET DE LAS COSAS Y LAS CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD. In *Nhk 技研* (Vol. 151). <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
11. Daldoul, Y., Meddour, D. E., & Ksentini, A. (2020). Performance evaluation of OFDMA and MU-MIMO in 802.11ax networks. *Computer Networks*, 182(February), 107477. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107477>
12. ESTRELLA, FIALLOS, S. (2017). Tema : “ Estudio Y Análisis Para La Actualización Autor : Santiago Fernando Estrella Fiallos. *Red Wlan*, 99(99), 182.
13. Gonzáles, J. (2017). Comparación entre el estándar ieee 802.11ax y el estandar ieee 802.11ac para determinar la evolución del rendimiento de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110(9), 1689–1699.
14. Gorshe, S., Raghavan, A., Starr, T., & Galli, S. (2014). WiFi: IEEE 802.11 Wireless LAN. *Broadband Access*, 305–321. <https://doi.org/10.1002/9781118878774.ch15>
15. Hinostroza, V., & Garcés, H. (2019). *WI-FI 6 : Características y aspectos particulares del estándar IEEE 802.11ax*. 41(134), 307–321.
16. INEC. (2018). Tecnologías de la Información y Comunicación Contenido. *Norma Técnica Ecuatoriana. Tecnologías de La Información*.
17. Islam, G. Z., & Kashem, M. A. (2019). An OFDMA-based New MAC mechanism for IEEE 802.11ax. *Proceedings of 2018 5th International Conference on Networking, Systems and Security, NSysS 2018*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/NSysS.2018.8631367>
18. JORDI SALAZAR Y SANTIAGO SILVESTRE. (2014). Internet de las cosas, la transformacion digital de la sociedad. In *Universidad Católica*.

19. Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
20. Lara, R. A., Fernández, C. B., & Morales, C. A. (2016). Análisis del desempeño en un enlace descendente de redes basadas en los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11n y WDS. / Performance analysis of downlink networks based on standards IEEE 802.11b, IEEE 802.11n and WDS / Performance analysis of down-link. *RECI Revista Iberoamericana de Las Ciencias Computacionales e Informática*, 5(10), 1. <https://doi.org/10.23913/reci.v5i10.42>
21. Lavric, A., Petrariu, A. I., & Popa, V. (2019). SigFox Communication Protocol: The New Era of IoT? *2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era, ISSI 2019*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISSI47111.2019.9043727>
22. Lee, J., Deng, D. J., & Chen, K. C. (2018a). Comparación entre el estandar IEEE 802.11ax y el estándar IEEE 802.11ac para determinar la evolución del rendimiento de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN). *2018 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2018*, 188–193. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2018.8450369>
23. Lee, J., Deng, D. J., & Chen, K. C. (2018b). OFDMA-based Hybrid Channel Access for IEEE 802.11ax WLAN. *2018 14th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2018*, 188–193. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2018.8450369>
24. Malche, T. (2017). *Internet of Things (IoT) for building Smart Home System*. 65–70.
25. Manrique, J. A., Rueda-Rueda, J. S., & Portocarrero, J. M. T. (2017). Contrasting Internet of Things and Wireless Sensor Network from a Conceptual Overview. *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Internet of Things; IEEE Green Computing and Communications; IEEE Cyber, Physical, and Social Computing; IEEE Smart Data, IThings-GreenCom-CPSCoM-Smart Data 2016*, 252–257. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCoM-SmartData.2016.66>
26. Medranda, S. A. (2016). *Tecnología RFID al servicio de la logistica.pdf* (p. 13).

27. Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2019). *MINTEL Ecuador Digital*. 42.
28. Morgan. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
29. Mosquera, Á. L. (2019). *Universidad católica de santiago de guayaquil*. 1–125.
30. Naik, G., Bhattarai, S., & Park, J. M. (2018). Performance Analysis of Uplink Multi-User OFDMA in IEEE 802.11ax. *IEEE International Conference on Communications, 2018-May*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422692>
31. Pachon, A. (2015). *La asignación de recursos en OFDMA derivados de la formulación y la solución de un modelo de optimización con variables continuas y variables booleanas*. 9, 215.
32. Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. G. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 1–10. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
33. Peluffo, D. H., Surcolombiana, U., Ivan-rios, J., Castro-silva, J. A., & Llanos, L. H. E. (2017). *Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)*. April, 1–9.
34. Peñarrieta, D. (2019). *Wifi para comunicaciones de largo alcance con tecnologia TDMA.pdf*.
35. Ramírez, L., Marín, A., & Rodríguez, A. (2018). *A i c: e p o c*. 82–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaero.589>
36. Rhee, S. (2016). Catalyzing the internet of things and smart cities: Global city teams challenge. *2016 1st International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering (SCOPE) in Partnership with Global City Teams Challenge (GCTC), SCOPE - GCTC 2016*. <https://doi.org/10.1109/SCOPE.2016.7515058>
37. Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). La internet de las cosas - una breve reseña. In *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5
38. Santhadevi, D., & Janet, B. (2018). Security Challenges in Computing System, Communication Technology and Protocols in IoT system. *2018 International Conference*

- on Circuits and Systems in Digital Enterprise Technology, ICCSDET 2018*, 1–7.
<https://doi.org/10.1109/ICCSDET.2018.8821074>
39. Sharma, P., Chaurasiya, R. K., & Saxena, A. (2013). Comparison analysis between IEEE 802.11a/b/g/n. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(5), 988–993.
40. Tintin, R. A., Vela, M., Anzules, V., & Escobar, V. (2015). Smart cities and telecommuting in Ecuador. *2015 2nd International Conference on EDemocracy and EGovernment, ICEDEG 2015*, 49–53. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2015.7114462>
41. Tuñón, D., & Ortega, R. (2009). Prisma tecnológico. In *Prisma Tecnológico* (Vol. 1, Issue 1, pp. 32–35).
42. Banerji, S., & Chowdhury, R. S. (2013). On IEEE 802.11: Wireless Lan Technology. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics*, 3(4), 45–64. <https://doi.org/10.5121/ijmnct.2013.3405>
43. Cifuentes, A. C. (2020). *Diseño de mecanismos de scheduling sobre IEEE 802 . 11ax usando Target Wake Up Time (Implementación en NS-3)*.
44. Coleman, D., Correll, P., & Gates, A. (2018). *802.11ax High Efficiency Wireless Networking*. 1–7.
45. Khorov, E., Kiryanov, A., Lyakhov, A., & Bianchi, G. (2019). A tutorial on IEEE 802.11ax high efficiency WLANs. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(1), 197–216. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2871099>
46. Machrouh, Z., & Najid, A. (2018). High efficiency IEEE 802.11ax MU-MIMO and frame aggregation analysis. *Proceedings - 2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking, CommNet 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/COMMNET.2018.8360264>
47. Mosquera, Á. L. (2019). *Estudio y análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax y 5G para el desarrollo del internet de las cosas*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13364>
48. Salazar, J. (2017). *Wireless Networks*.
49. Yang, D. X., Guo, Y., & Aboul-Magd, O. (2018). 802.11ax: The coming new WLAN system with more than 4x MAC throughput enhancement. *IEEE Vehicular Technology Conference, 2017-Septe*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/VTCFall.2017.8288165>

50. Yépez, J. F. (2018). The Current Telecommunications Infrastructure in Ecuador is Ready to Start with the Implementation of IoT Applications ? 3(August), 57–76.
51. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>